

Portable Battery Charger Berbasis Sel Surya

Budhi Anto, Edy Hamdani, dan Rizki Abdullah
Jurusan Teknik Elektro, Universitas Riau
Jl. HR. Subrantas km 12.5, Pekanbaru 28293
e-mail: budhianto.ur@gmail.com

Abstrak—Suatu peralatan pengisi muatan baterai akumulator berbasis sel surya telah diperkenalkan dalam artikel ini. Peralatan tersebut digunakan untuk mengisi muatan baterai akumulator berkapasitas medium yang sangat dibutuhkan oleh pedagang kuliner keliling dan nelayan pesisir yang tinggal di kawasan yang belum terlayani oleh jaringan listrik PLN. Peralatan yang dibuat terdiri atas panel surya dengan daya puncak 50-W yang terpasang pada konstruksi bersifat portabel atau dapat dengan mudah dipindah-pindah, baterai asam-timbal 12-V, 7,5-Ah dan unit pengendali pengisi muatan baterai atau *charge controller*. Panel surya mengisi muatan baterai melalui *charge controller*, selanjutnya energi yang tersimpan pada baterai dapat dimanfaatkan untuk menyalakan lampu listrik untuk pencahayaan gerobak kuliner atau perahu nelayan di malam hari. *Charge controller* mengisi muatan baterai menggunakan metode *float charging* yang diimplementasikan dengan memberi tegangan sebesar 13,5 Volt pada terminal-terminal baterai dan membatasi arus pengisian baterai sampai 1,5 Ampere. Rangkaian *charge controller* menggunakan komponen utama regulator tegangan LM338. Baterai asam-timbal yang digunakan adalah dari jenis *sealed lead acid* sehingga bebas perawatan dan lebih higienis dibandingkan dengan jenis baterai asam-timbal lainnya. Hasil pengujian pengisian dari pukul 08.00 sampai pukul 16.00 pada kondisi cuaca cerah terhadap baterai dengan kapasitas sisa 50% memperlihatkan bahwa panel surya telah dapat mengisi muatan baterai sampai penuh pada kondisi operasi yang aman bagi baterai tersebut.

Kata kunci: *pengisi muatan baterai akumulator berbasis sel surya yang portabel, metode float charging, LM338*

Abstract—A type of solar battery charger is introduced in this paper. This equipment functions as a medium size rechargeable battery that is needed to move culinary merchants and coastal fishermen living in area which is not supplied by electrical networks. The equipment consists of solar module mounted onto portable mechanical construction, a 12-V 7.5-Ah lead acid battery and charge controller. Solar module charges the battery through charge controller and then the battery can be discharged to power on electric lamps for lightening culinary wagon or fisherman's boat at night. Charge controller charges the battery with float charging which is implemented by maintaining 13.5 Volt between battery terminals and limiting the charging current to 1.5 Amperes. Charge controller circuit is based on adjustable linear voltage regulator LM338. The battery is of sealed lead acid type. This type of battery is maintenance free and more hygiene than other types of lead acid battery. The field experiment of charging the battery of 50% residual capacity from 8 am to 4 pm under sunny weather shows that the solar module has charged the battery to its full capacity under battery safe charging conditions.

Keywords: *portable solar battery charger, float charging, LM338*

I. PENDAHULUAN

Dewasa ini masyarakat menggunakan genset portabel untuk keperluan sumber tenaga listrik cadangan dan sumber tenaga listrik portabel untuk mencatu peralatan-peralatan listrik mereka. Maraknya penggunaan genset portabel dapat dilihat pada pedagang-pedagang kaki lima keliling yang berdagang di sepanjang jalan-jalan utama kota. Mereka menggunakan genset portabel untuk pencahayaan dan penggerak alat pengolah masakan seperti blender dan sejenisnya.

Dengan semakin menipisnya cadangan bahan bakar fosil dunia dan isu-isu lingkungan global, berbagai kalangan baik yang berasal dari pemerintahan maupun organisasi swadaya masyarakat nasional maupun internasional telah berupaya mempopulerkan sumber energi alternatif pengganti bahan bakar fosil atau lebih dikenal dengan

istilah energi baru dan terbarukan (EBT). Energi yang berasal dari cahaya matahari merupakan sumber tenaga yang potensial untuk diusahakan, mengingat potensinya melimpah di wilayah Indonesia sebesar 4 kWh/m² per hari [1]. Selain itu dengan teknologi sel surya, proses konversi energi cahaya matahari menjadi energi listrik tidak menghasilkan gas rumah kaca sehingga pemanfaatan energi surya melalui sel surya adalah ramah lingkungan.

Mempertimbangkan potensinya dan aspek lingkungan, kami telah membuat sumber tenaga listrik cadangan yang bersifat portabel dengan memanfaatkan cahaya matahari sebagai sumber energinya. Sistem yang dibuat terdiri atas konstruksi panel surya yang bersifat portabel (dapat dengan mudah dibawa atau dipindah-pindah), baterai akumulator dan unit pengendali pengisian muatan baterai akumulator (*charge controller*). Sel surya mengisi muatan baterai akumulator melalui *charge controller*, selanjutnya

energi yang tersimpan pada baterai akumulator dapat dimanfaatkan sebagai sumber tenaga listrik, misalnya untuk mencatu lampu LED.

Alat pengisi muatan baterai akumulator yang bersifat portabel telah diteliti oleh beberapa peneliti. Varadarajan telah membuat *portable battery charger* berbasis sel surya untuk mengisi muatan baterai beberapa merk telepon selular [2]. Sistem yang dibuat olehnya dioperasikan dengan memasukkan koin. Al-Mashhadany dan Attia telah membuat *portable battery charger* berbasis sel surya untuk mengisi muatan baterai perangkat elektronika portabel seperti laptop dan telepon selular [3]. Syed dan Memon telah membuat *battery charger* berbasis sel surya yang terpasang pada baju jaket [4]. Peralatan tersebut digunakan untuk mengisi muatan baterai laptop dan telepon selular. Tavora dan Maia telah menjelaskan metode operasi *battery charger* berbasis sel surya yang dapat memaksimalkan penggunaan energi listrik dari modul surya untuk pengisian baterai perangkat elektronika portabel dengan menggunakan teknologi *maximum power point tracking* (MPPT) [5]. Mereka telah menggunakan algoritma *Perturb and Observe* (algoritma PO) pada MPPT-nya.

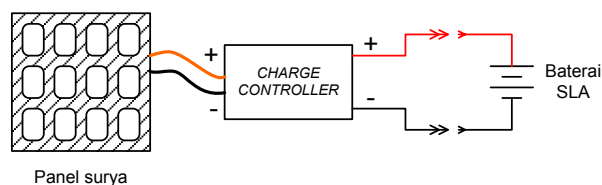
Battery charger berbasis sel surya untuk baterai akumulator berkapasitas medium untuk keperluan pencahayaan pada usaha dagang kuliner keliling dan pencahayaan perahu nelayan belum pernah dibuat padahal peralatan tersebut sangat dibutuhkan oleh masyarakat terutama mereka yang tinggal di wilayah yang belum terlayani oleh jaringan listrik PLN. Oleh karena itu dalam penelitian ini kami telah membuat *battery charger* berbasis sel surya untuk baterai berkapasitas medium. Karena sistem yang dibuat pada dasarnya adalah sebuah teknologi tepat guna, maka kesederhanaan rangkaian dan konstruksi menjadi hal yang diutamakan dalam proses perancangannya.

II. METODE

Sistem yang dibuat terdiri atas panel surya dengan konstruksi yang bersifat portabel, baterai akumulator dan *charge controller*. Panel surya berfungsi mengubah cahaya matahari menjadi kerja listrik melalui *photovoltaic effect* [6,7]. Selanjutnya listrik yang dihasilkan oleh panel surya disimpan pada baterai akumulator. *Charge controller* berfungsi mengendalikan pengisian muatan baterai akumulator agar proses pengisian tersebut terjadi pada kondisi yang aman bagi baterai akumulator [8,9]. Sistem yang dibuat secara konseptual diilustrasikan pada Gambar 1.

Terdapat 3 hal penting yang berkaitan dengan perancangan peralatan yaitu, (1) perhitungan ukuran panel surya, (2) perancangan dudukan panel surya yang bersifat portabel, dan (3) perancangan rangkaian *charge controller*.

Perhitungan ukuran panel surya dimulai dengan menetapkan ukuran (kapasitas) baterai akumulator. Baterai akumulator yang digunakan adalah dari jenis baterai asam-timbal (*lead-acid battery*), karena baterai jenis ini



Gambar 1. Rancangan konseptual solar *battery charger*

dapat dengan mudah ditemukan di pasaran dengan harga yang relatif murah. Kapasitas baterai akumulator telah dipilih sebesar 7,5 Ah dengan tegangan nominal 12 Volt. Kapasitas ini cukup untuk menyalakan lampu LED 10-W, 12-V selama 6 jam. Dengan rata-rata nilai efisiensi lampu LED sebesar 100 lumen/Watt [10], maka lampu LED dapat menghasilkan cahaya sebesar 600 lumen. Nilai fluks cahaya tersebut secara psikologis sangat memadai untuk menerangi sebuah gerobak dorong usaha kuliner keliling.

Ukuran daya panel surya (P) yang diperlukan untuk mengisi muatan baterai akumulator dihitung menggunakan persamaan berikut [11],

$$P = \frac{CxE}{h} \times 1.1 \quad (1)$$

Dengan C adalah kapasitas baterai akumulator dalam satuan Ah, E adalah tegangan nominal baterai akumulator dalam satuan Volt dan h adalah lama waktu penyinaran matahari rata-rata dalam 1 hari, dalam satuan jam. Nilai h ditentukan oleh posisi geografis suatu wilayah, diperoleh dari data statistik dan merupakan nilai rata-rata terendah dalam 1 tahun. Di sini digunakan nilai $h = 2,48$ jam [11].

Selanjutnya pemilihan panel surya dilakukan dengan mengacu pada ukuran panel surya yang tersedia di pasaran sebagaimana ditampilkan pada Tabel 1 [12].

Konstruksi untuk dudukan panel surya dirancang untuk bersifat portabel atau dapat dibawa atau dipindah-pindah dengan mudah. Struktur dudukan panel surya dirancang dengan mempertimbangkan dimensi dan berat panel surya, selain itu konstruksi dudukan panel surya menggunakan

Tabel 1. Spesifikasi beberapa panel surya

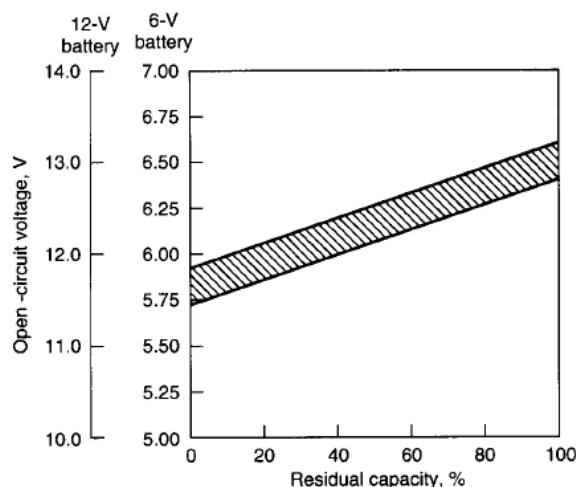
Daya output (W)	20	50	80	80	120
Jenis sel surya	Multi	Multi	Amorphous	Multi	Multi
Daya puncak (W)	20	50	88	85	120
Daya min. (W)			76	76	114
Teg. open circuit (V)	21.6	21.6	63.3	21.6	21.3
Arus short circuit (A)	1.3	2.98	2.08	5.15	7.81
Teg. daya puncak (V)	17.2	17.6	47.6	17.3	17.1
Arus daya puncak (A)	1.17	2.85	1.68	4.63	7.02
Maks. sistem tegangan (V)			600	600	540
Dimensi P x L x T (mm)	639 x 294 x 23	835 x 540 x 28	1129 x 934 x 46	1214 x 545 x 35	1499 x 662 x 46
Efisiensi (%)			7.6	14.1	13.1
Berat (kg)	2.4	5.5	17	9	14

material yang kuat dan tahan karat.

Tegangan keluaran panel surya diberikan ke unit *charge controller* yang selanjutnya mengendalikan proses pengisian baterai akumulator. Makin besar intensitas cahaya matahari yang diterima permukaan panel surya, maka tegangan terminal panel surya semakin besar. Tegangan yang berlebihan dapat merusak baterai akumulator. Untuk baterai akumulator jenis asam-timbal, tegangan pengisian maksimum adalah 2,45 Volt tiap sel [8]. Sewaktu tegangan terminal panel surya naik, *charge controller* akan mengatur tegangan pengisian baterai sedemikian sehingga tidak terjadi tegangan lebih pada baterai tersebut.

Pada umumnya baterai asam-timbal di-charge dengan cara mengalirkan arus yang konstan ke baterai tersebut sebesar 0,07C lalu tegangan baterai dijaga agar tidak melebihi tegangan maksimum tiap sel [8]. Untuk baterai asam-timbal dengan kapasitas 7,5 Ah, maka pengisian baterai dilakukan menggunakan arus sebesar 0,525 A selama 14,29 jam. Terdapat beberapa metode untuk membuat proses pengisian baterai asam-timbal lebih cepat yaitu *float charging*, *taper charging* (3-stage charging), *pulse charging* dan *rapid charging* [8,9,13]. Dalam penelitian ini digunakan metode *float charging* dimana baterai asam-timbal di-charge menggunakan sumber tegangan tetap dengan pembatas arus. Metode pengisian ini dipilih karena menggunakan rangkaian yang sederhana berbasis *regulator* tegangan linier LM338 [14]. Dengan *float charging*, tegangan baterai dibatasi sampai 2,28 Volt per sel dan arus pengisian baterai dibatasi tergantung kapasitas baterai tersebut.

Kapasitas baterai yang tersisa dapat diketahui dengan mengukur tegangan terminal baterai pada kondisi tanpa beban (*open circuit*). Gambar 2 memperlihatkan grafik tegangan tanpa beban terhadap kapasitas baterai asam-timbal [8]. Tabel 2 menyajikan hubungan antara tegangan tanpa beban baterai asam timbal terhadap kapasitas baterai dalam bentuk yang lebih praktis [15]. Informasi yang disajikan pada Gambar 2 dan Tabel 2 akan digunakan



Gambar 2. Grafik tegangan tanpa beban baterai asam-timbal terhadap kapasitas sisanya

Tabel 2. Kapasitas sisa baterai asam-timbal terhadap tegangan tanpa beban

Kapasitas sisa (persen)	Tegangan tanpa beban (Volt)
100	12,70
90	12,58
80	12,46
70	12,36
60	12,28
50	12,20
40	12,12
30	12,04
20	11,98
10	11,94

untuk menguji apakah sebuah baterai asam-timbal telah terisi penuh di akhir proses pengisiannya.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Baterai asam-timbal yang digunakan adalah dari jenis *valve regulated lead acid* (VRLA) atau disebut juga *sealed lead acid* (SLA). Baterai jenis ini bebas perawatan dan lebih higinis dibandingkan dengan jenis baterai asam-timbal lainnya, sehingga baterai jenis ini cocok digunakan pada usaha kuliner keliling yang mementingkan aspek kebersihan dan kesehatan produknya. Tegangan nominal baterai adalah 12 Volt dengan kapasitas 7,5 Ah. Baterai akumulator yang digunakan diperlihatkan pada Gambar 3.

Dengan tegangan nominal baterai SLA 12 Volt, berarti baterai menggunakan 6 sel, sehingga tegangan pengisian baterai maksimum adalah $6 \times 2,45 \text{ Volt} = 14,7 \text{ Volt}$. Sedangkan batas tegangan untuk *float charging* adalah $6 \times 2,28 \text{ Volt} = 13,68 \text{ Volt}$.

Daya panel surya yang diperlukan untuk mengisi muatan baterai SLA dihitung menggunakan persamaan (1). Dengan menggunakan nilai-nilai $C = 7,5 \text{ Ah}$; $E = 12 \text{ Volt}$ dan $h = 2,48 \text{ jam}$, diperoleh $P = 40 \text{ Watt}$. Panel



Gambar 3. Baterai SLA 12 Volt, 7,5 Ah

surya dengan daya maksimum 50 Watt telah dipilih untuk mengisi muatan baterai tersebut.

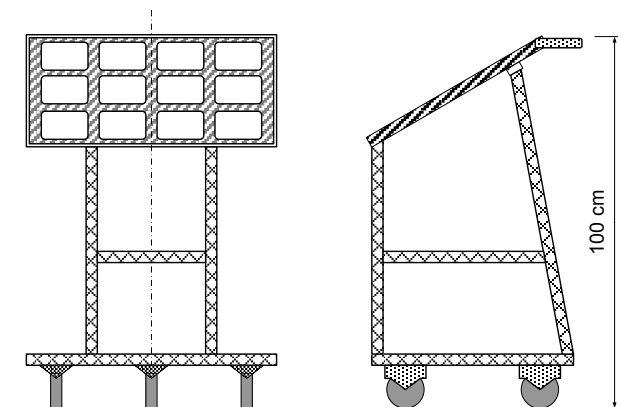
Spesifikasi panel surya adalah sebagai berikut,

- Daya maksimum : 50 Wp
- Tegangan Optimum : 17,2 Volt
- Arus optimum : 2,91 A
- Tegangan beban nol : 21,5 Volt
- Ukuran panel : 54 cm x 67 cm
- Berat : 5,5 kg

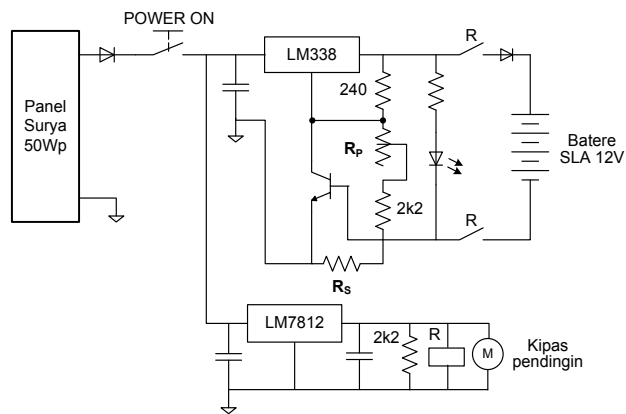
Untuk mendapatkan panel surya yang bersifat portabel, maka konstruksi mekanis panel surya dilengkapi dengan roda kastor. Terdapat 3 roda kastor, 2 roda pada bagian belakang dan 1 roda pada bagian depan. Konstruksi panel surya dilengkapi dengan pegangan untuk mendorong atau memindahkan panel surya tersebut. Tinggi panel surya dari lantai adalah 1 meter sehingga memudahkan orang dewasa untuk mendorongnya. Rancangan konstruksi panel surya portabel diperlihatkan pada Gambar 4.

Rangkaian *charge controller* menggunakan metode *float charging* yang diimplementasikan menggunakan *regulator* tegangan yang dapat diatur LM338, sebagaimana diperlihatkan pada Gambar 5. Rangkaian terintegrasi LM338 mampu mengalirkan arus sampai 5 A, sehingga sesuai untuk dihubungkan pada panel surya dengan kemampuan arus yang mencapai 2,91 A. Arus pengisian baterai dibatasi sampai 1,5 A. Rangkaian *charge controller* dilengkapi dengan kipas pendingin yang digerakkan oleh tegangan 12 Volt yang berasal dari regulator tegangan LM7812. LM7812 juga menyediakan tegangan 12 Volt untuk meng-*energize* relai R. Gambar 6 memperlihatkan rangkaian *charge controller* yang dilengkapi kipas pendingin.

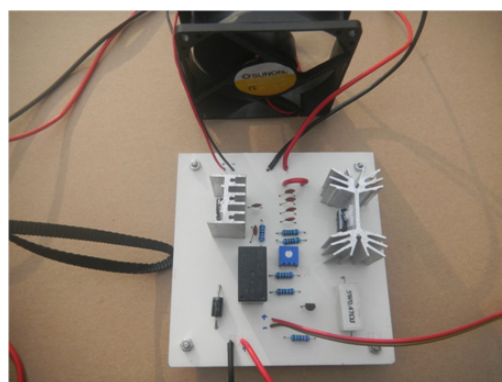
Pengoperasian *charge controller* dimulai dengan menyetel tegangan keluaran *charge controller* pada kondisi tanpa-beban atau baterai belum terpasang. Tegangan pada kondisi tanpa-beban disetel sebesar 13,5 Volt. Ini adalah batas tegangan tertinggi keluaran *charge controller*. Tegangan keluaran *charge controller* disetel dengan memutar potensiometer RP. Resistor RS digunakan untuk membatasi arus pengisian *charge controller*. Arus pengisian dibatasi sampai 1,5 A. Dengan tegangan basis-emiter transistor sebesar 0,7 Volt, maka digunakan RS



Gambar 4. Rancangan konstruksi mekanis panel surya yang portabel



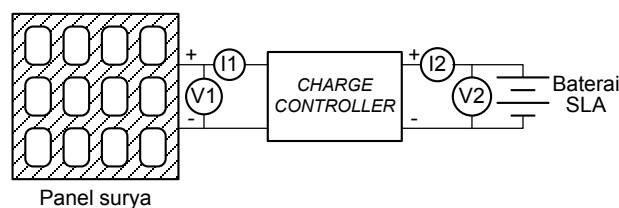
Gambar 5. Diagram skematik rangkaian *charge controller*



Gambar 6. Charge controller berikut kipas pendingin

sebesar $0,7/1,5 = 0,47$ ohm. Resistor 0,47 Ohm 5-W telah digunakan untuk RS.

Rangkaian pengujian pengisian baterai SLA oleh panel surya diperlihatkan pada Gambar 7, sedangkan Gambar 8 memperlihatkan foto dokumentasi pengujian. Pengujian dilakukan dari pukul 08.00 sampai pukul 16.00. Kondisi cuaca saat pengujian adalah cerah. Posisi panel surya terhadap matahari dibuat tetap atau tidak bergerak. Sebelum pengujian, tegangan tanpa beban baterai SLA diukur dan diperoleh nilai sebesar 12,2 Volt. Berdasarkan Tabel 2, kapasitas sisa baterai SLA sebelum pengisian adalah 50%. Selama proses pengujian tegangan terminal panel surya (V1) dan arus yang keluar dari panel surya (I1) diukur, demikian pula arus yang keluar dari *charge controller* (I2) dan tegangan terminal baterai SLA (V2). Pencatatan data pengukuran dilakukan dengan rentang 15 menit. Setelah masa pengujian pengisian, kapasitas sisa baterai SLA diukur melalui pengukuran tegangan tanpa



Gambar 7. Rangkaian pengujian pengisian baterai SLA oleh panel surya



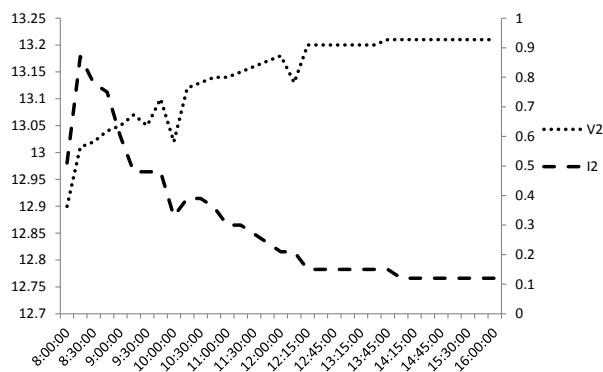
Gambar 8. Foto dokumentasi pengujian pengisian baterai SLA oleh panel surya

beban baterai tersebut. Hasil pengujian dalam bentuk grafik-grafik diperlihatkan pada Gambar 9, Gambar 10, dan Gambar 11.

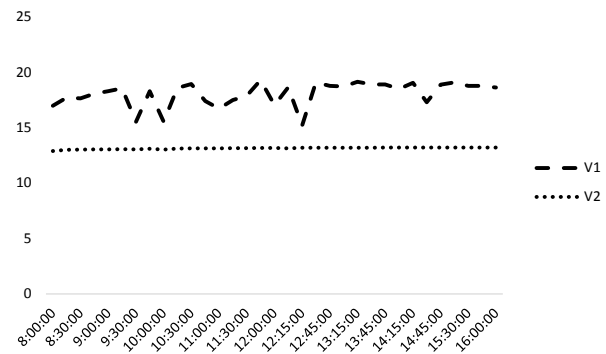
Dari pengukuran tegangan tanpa beban baterai setelah masa pengujian pengisian diperoleh nilai sebesar 12,71 Volt. Berdasarkan Tabel 2, baterai SLA telah terisi penuh.

Grafik pada Gambar 9 memperlihatkan tegangan terminal baterai selama proses pengisian dan arus pengisian baterai. Tegangan terminal baterai meningkat seiring dengan penurunan arus pengisian baterai. Diakhir masa pengujian, dari pukul 14.00 – 16.00, tegangan terminal baterai bertahan pada nilai 13,2 Volt dan arus pengisian bertahan pada nilai 0,12 Ampere. Kondisi ini disebabkan oleh baterai telah terisi penuh. Waktu yang diperlukan untuk mencapai baterai SLA pada kondisi penuh adalah sekitar 6 jam. Adanya penurunan tegangan terminal baterai antara 09.30 – 10.30 dan 12.00 – 12.30 disebabkan oleh kondisi sinar matahari yang terhalang oleh awan.

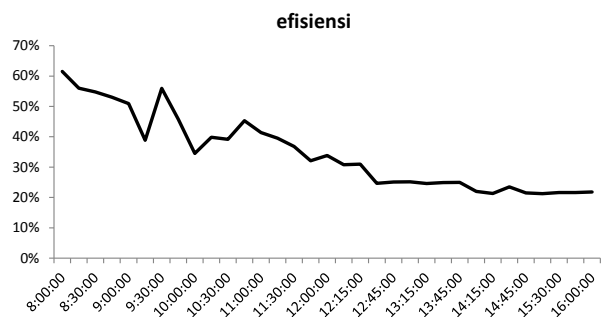
Grafik pada Gambar 10 memperlihatkan nilai V1 dan V2 terhadap waktu pengujian. Dari grafik tersebut terlihat bahwa tegangan baterai SLA selama waktu pengisian tidak melewati tegangan maksimum pengisian sebesar 14,7 Volt, meskipun tegangan terminal panel surya fluktuatif. Ini berarti *charge controller* telah mengisi baterai pada



Gambar 9. Grafik V2 dan I2 terhadap waktu pengujian



Gambar 10. Grafik V1 dan V2 terhadap waktu pengujian



Gambar 11. Grafik efisiensi *charge controller* terhadap waktu pengujian

kondisi aman bagi baterai tersebut.

Efisiensi *charge controller* dihitung dengan cara membandingkan daya keluaran *charge controller* yaitu $P_2 = V_2 \times I_2$ dengan daya masukannya yaitu $P_1 = V_1 \times I_1$. Efisiensi *charge controller* adalah cenderung menurun selama masa pengisian baterai sebagaimana diperlihatkan pada Gambar 11. Efisiensi tertinggi terjadi pada awal proses pengisian yaitu sebesar 62%.

IV. KESIMPULAN

Suatu teknologi tepat guna dalam bentuk alat pengisi muatan baterai akumulator berbasis sel surya telah dibuat. Alat tersebut dirancang untuk bersifat portabel dan ditujukan untuk mengisi muatan baterai akumulator berkapasitas medium yang dapat digunakan oleh pedagang kuliner keliling dan nelayan pesisir untuk menyalakan lampu listrik untuk menerangi gerobak dorong atau perahu mereka di malam hari. Alat tersebut mengisi muatan baterai akumulator dengan mempergunakan metode *float charging* yang diimplementasikan dengan mempertahankan tegangan pada kedua terminal baterai sebesar 13,5 Volt dan membatasi arus pengisian sampai 1,5 Ampere, dengan mempergunakan regulator tegangan linier LM338. Hasil pengujian pengisian baterai pada kondisi cuaca cerah dari pukul 08.00 sampai pukul 16.00 telah memperlihatkan bahwa alat yang dibuat telah dapat mengisi muatan baterai sampai penuh pada kondisi yang aman bagi baterai tersebut. Karena menggunakan metode *float charging* berbasis regulator tegangan linier maka waktu pengisian baterai akumulator relatif lama

yaitu sekitar 6 jam dan efisiensi *charge controller* relatif rendah dengan nilai tertinggi sebesar 62%. Langkah penyempurnaan perlu dilakukan agar pengisian baterai dapat dilakukan dengan lebih efisien dan lebih cepat, misalnya dengan menggunakan *converter* dc-dc dan metode pengisian 3-tahap (*3-stage charging*).

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Dekan Fakultas Teknik Universitas Riau atas pembiayaan penelitian ini dalam skim pembiayaan Hibah Penelitian Dosen Fakultas Teknik Universitas Riau Tahun 2013 dengan nomor kontrak 1080/UN.19.1.31/PL/2013.

REFERENSI

- [1] N. A. Handayani and D. Ariyanti, "Potency of Solar Energy Applications in Indonesia". *International Journal of Renewable Energy Development*. Vol. 1, No. 2. 2012.
- [2] M. S. Varadarajan, "Coin Based Universal Mobile Battery Charger". *IOSR Journal of Engineering*. vol.2, no. 6, pp. 1433-1438, 2012.
- [3] Y. I. Al-Mashhadany and H. A. Attia, "Novel Design and Implementation of Portable Charger through Low-Power PV Energy System". *Electrical Engineering Dept., College of Engineering, University of Al-Anbar, Al-Anbar, Iraq*, 2013.
- [4] U. Syed, and A. Memon, "Design and Manufacturing of Solar Jacket for Charging the Mobile and Laptop Devices". *International Journal of Current Engineering and Technology*. vol. 2, no. 4, pp. 365-368, 2012.
- [5] F. Tavora and A. S. Maia. *Solar Battery Charger for Portable Devices Application*. SiliconReef. Brazil. 2012.
- [6] P. Hersch, and K. Zweibel. *Basic PhotoVoltaic Principles and Methods*. Technical Information Office, Solar Energy Research Institute – SERI. USA. 1982.
- [7] T. Markvart and L. Castaner. *Practical Handbook of Photovoltaics: Fundamentals and Applications*. Elsevier. UK. 2003.
- [8] D. Linden and T. B. Reddy. *Handbook of Batteries*. Third Edition. McGraw-Hill. 2002.
- [9] www.batteryuniversity.com. Understanding Batteries for Photovoltaic.
- [10] Wikipedia. LED lamps. en.wikipedia.org.
- [11] Suriadi and M. Syukri. *Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Terpadu Menggunakan Software PVSYST Pada Komplek Perumahan di Banda Aceh*. *Jurnal Rekayasa Elektrika*, vol. 9, no.2, pp. 77 – 80, 2010.
- [12] www.panelsurya.com. Spesifikasi Panel Surya.
- [13] P. Qian, and M. Guo. *Design of Pulse Charger for Lead Acid Battery*. Springer - Lecture Notes in Electrical Engineering. Vol. 97, pp. 897-901, 2011.
- [14] Texas Instrument. LM138/LM338 5-Amps Adjustable Regulators. Datasheet. 2013.
- [15] R. Perez. *Lead-Acid Battery State of Charge vs. Voltage*. *Home Power* (36). Magazine. September 1993.